

2015) – Даниловских чтений (Екатеринбург, 11–15 декабря 2017 г.). Екатеринбург: УрФУ, 2017. С. 430-433.

УДК 620.91

С. А. Щукин, Н. Б. Лошкарев

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ И РАСЧЕТ ТЕПЛООБМЕНА В РАБОЧЕМ ПРОСТРАНСТВЕ ПЕЧИ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Аннотация

В работе рассмотрены конструкция камерной электропечи с выдвижным подом, а также принцип нагрева сварных изделий. Представлены результаты расчета тепловых характеристик вентиляторов, а также теплового баланса камерной электропечи с принудительной вертикальной циркуляцией теплового потока. В ходе работы проведены исследования траекторий движений потоков воздуха в рабочем пространстве печи при вертикальном и горизонтальном расположении вентиляторов. Выполнен анализ наиболее оптимального расположения вентиляторов для обеспечения более равномерного распределения тепловых потоков внутри рабочего пространства камерной печи сопротивления. Расчет газодинамики выполнен с использованием универсального программного продукта ANSYS Fluent, имеющего широкий спектр возможностей моделирования течений жидкости и газов для промышленных задач с учетом турбулентности, теплообмена и химических реакций.

Ключевые слова: камерная электропечь, принудительная циркуляция, компьютерное моделирование, тепловой баланс.

Abstract

The paper considers the design of a chamber electric furnace with a retractable hearth, as well as the principle of heating welded products. The results of the calculation of the thermal characteristics of the fan and the heat balance of the chamber furnaces with forced circulation vertical heat flux. In the course of the work, the trajectories of air flows in the working space of the furnace with vertical and horizontal arrangement of fans were investigated. The analysis of the most optimal location of the fans to ensure a more uniform distribution of heat flows inside the working space of the chamber resistance furnace. Gas dynamics calculation is performed using the universal software ANSYS Fluent, which has a wide range of possibilities for modeling fluid flows for industrial applications, taking into account turbulence, heat transfer and chemical reactions.

Key words: chamber electric furnace, forced circulation, computer modeling, thermal balance.

Для изменения структуры и свойств стальных изделий применяется термическая обработка. Зачастую термообработка оказывает решающее влияние на качество и стоимость изделий, в связи с чем необходимо контролировать данный процесс с максимальной точностью.

Существующая на заводе АО "Уралтрансмаш" камерная электропечь с выдвижным подом применяется для нагрева сварных конструкций с целью снятия поля остаточных напряжений в зоне соединения частей изделий (рис. 1). Процесс

сварки, обусловленный местным сплавлением соединяемых частей изделия или совместных их пластических деформированием, сопровождается изменением структуры и свойств в зоне шва. Предъявляемые высокие требования к качеству нагрева металла не соблюдаются при термообработке заготовок в существующей электропечи. В связи с этим необходимо подобрать подходящий режим нагрева металла, обусловленный оптимальным размещением вентиляторов и электронагревателей для уменьшения перепада температур по поверхности нагреваемой в печи заготовки.

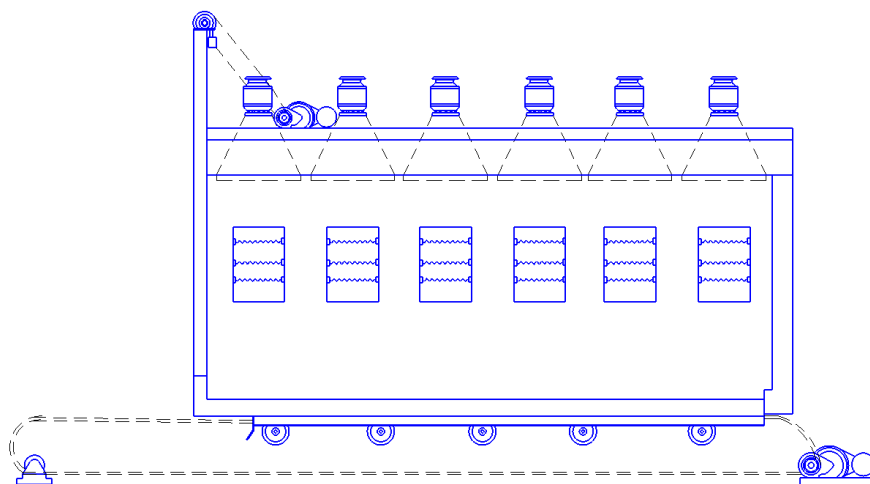


Рис. 1. Камерная электропечь для отпуска сварных конструкций

Камерная электропечь для отпуска сварных конструкций имеет спиральные нагревательные элементы, расположенные на боковых стенках каркаса печи и закрыты экранами. Конвекция воздуха происходит с помощью семи вентиляторов, установленных в каркасе свода печи. Печь защищена теплоизоляционной минеральной ватой. Технические характеристики печи приведены в таблице 1.

Таблица 1

Технические характеристики печи

Наименование	Ед. изм.	Величина
Конструкция печи	Камерная печь с выдвижным подом	
Назначение печи	Отпуск сварных конструкций	
Длина печи	мм	7500
Ширина печи	мм	4000
Высота печи	мм	2100
Мощность печи	кВт	400
Напряжение на печи	В	380
Число тепловых зон		7
Максимальный вес загрузки	кг	8000
Максимальная температура воздуха в рабочем пространстве	°С	400
Атмосфера в печи	Воздух	
Теплоизоляционный материал	Минеральная вата	

Мощность электропечи 400 кВт распределена равномерно на шесть зон по 66,7 кВт на зону. Нагреватель выполнен в виде спирали из проволоки сплава Х13Ю4 диаметром 5 мм. Температура каждой зоны регулируется с помощью термопары типа ТХК–240 связанной с электронным потенциометром, установленным в шкафу управления типа ЩУ–13А.

Загрузка сварных деталей производится мостовым краном на специальные приспособления. Приспособления выполнены из стали марки Ст.3 и расположены на выдвижном поду печи. Режим термической обработки заключается в нагреве садки от начальной температуры 20 °С до заданной температуры 270 °С и выдержке при этой температуре три часа. Перепад температуры в рабочем пространстве печи не должен превышать ± 5 °С.

Принципиальная схема газозооушного тракта определяет затраты энергии газа и воздуха при заданных сопротивлениях отдельных его элементов. Схема определяет место установки тягодутьевых машин (на холодном воздухе, горячем воздухе, дымовых газах), число независимых ниток с разными характеристиками трактов и машин, наличие постоянно действующих перемычек с дросселированием давления в них и др [1].

Для оптимального распределения теплоты от нагревателей, выполненных в виде спирали из проволоки \varnothing 5 мм, необходимо обеспечить циркуляцию воздуха объёмом 2100 м³/ч или 6 м³/с [2].

Диаметр входного отверстия вентилятора составит:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot f}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,315}{3,14}} = 0,63 \text{ м} = 630 \text{ мм.} \quad (1)$$

Ширина колеса у входного отверстия вентилятора:

$$B = \frac{6}{19 \cdot 3,14 \cdot 0,63 \cdot 0,7} = 0,228 \text{ м} \approx 230 \text{ мм.} \quad (2)$$

Мощность привода вентилятора, при коэффициенте полезного действия вентилятора $\eta = 0,655$ будет равен:

$$N = \frac{V \cdot H_1}{102 \cdot \eta} = \frac{6 \cdot 67,5}{102 \cdot 0,655} = 6,06 \text{ кВт.} \quad (3)$$

На основе показателей работы существующей электропечи был составлен тепловой баланс, результаты которого сведены в таблице 2 [3].

Таблица 2

Сводная таблица теплового баланса

Приход тепла			Расход тепла		
Наименование	Вт	%	Наименование	Вт	%
Тепловая мощность электрической печи	400 000	100	$Q_{\text{полезн}}$	235625	58,9
			$Q_{\text{тары}}$	46680	11,67
			Q_5	60770	15,19
			$Q_{\text{акум}}$	19400	4,85
			Неучтенные потери	37565	9,39
Итого	400000	100	Итого	400000	100

Исходя из полученных данных, определяем коэффициент полезного действия камерной электропечи:

$$\eta = \frac{Q_{\text{полезн}}}{Q_{\text{расход}}} \cdot 100\% = \frac{235\,625}{400\,000} \cdot 100\% = 58,9\% \quad (4)$$

Удельный расход энергии определяется следующим выражением:

$$\omega = \frac{Q_{\text{расход}}}{G} = \frac{400\,000}{6500} = 61,54 \text{ Вт} \cdot \frac{\text{ч}}{\text{кг}} \quad (5)$$

Компьютерное моделирование – процесс конструирования модели реального объекта и постановки экспериментальных задач на этой модели с целью понять поведение этой системы, либо оценить различные варианты решений, обеспечивающих функционирование данной системы. Таким образом, процесс компьютерного моделирования включает и конструирование модели, и ее модернизацию [4].

Имитационное моделирование является наиболее эффективным и универсальным вариантом компьютерного моделирования в области исследования и управления сложными системами. Для визуализации распределения тепловых потоков была применена универсальная программа ANSYS Fluent. Полученное распределение скоростей потоков воздуха представлено на рисунке 2.

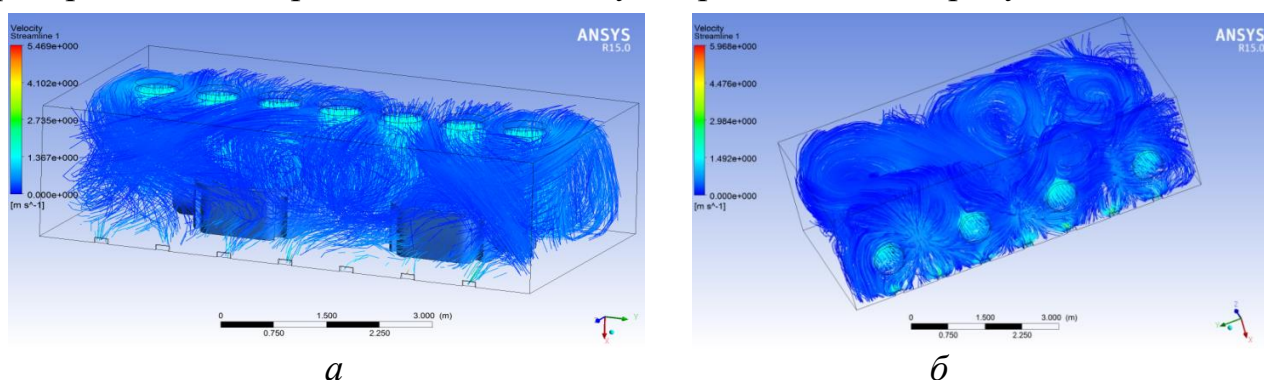


Рис. 2. Распределение скоростных полей внутри рабочего пространства печи при вертикальном расположении вентиляторов (а) и при горизонтальном расположении вентиляторов (б)

Исходя из представленных распределений можно сделать вывод о том, что наиболее целесообразно применять горизонтальную систему циркуляции воздушных потоков, так как данное расположение вентиляторов обеспечивает наиболее полное обдувание тепловыми потоками всех зон рабочего пространства печи и заготовок.

Список использованных источников

1. Гидравлический расчет трубопроводов и выбор тягодутьевых средств, обеспечивающих работу промышленных печей: учебное пособие / С.Н. Гущин [и др.]; под ред. С.Н. Гущина. – Екатеринбург: УрФУ, 2011. – 140 с.;

2. Теория теплопередачи и тепловые расчеты электрических печей: учебник для техникумов / Л.С. Кацевич [и др.]; под ред. В.П. Цишевского. – М.: «Энергия», 1977. – 303 с.;

3. Красновский Е.Е. Решение прикладных задач термомеханики с применением программного комплекса ANSYS: Метод. указания к выполнению лабораторных работ / Под ред. В.С. Зарубина. – М.: МГТУ им Н. Э. Баумана, 2008. – 88 с.

УДК 620.91

Н. В. Щукина, Н. Б. Лошкарев, В. В. Лавров, Н. А. Спирин

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

ТЕХНИЧЕСКОЕ ПЕРЕООРУЖЕНИЕ И ТЕПЛОВАЯ РАБОТА НАГРЕВАТЕЛЬНОЙ ПЕЧИ ТРУБОПРОКАТНОГО ЦЕХА

Abstract

В докладе рассмотрены конструкция и тепловая работа действующей на ПАО «ЧТПЗ» методической печи для нагрева трубных заготовок перед прошивкой. Проанализированы проблемы, возникающие при работе теплового агрегата. Для оценки эффективности существующей системы отопления составлен тепловой баланс методической печи. В ходе анализа результатов расчетных исследований выявлены недостатки существующих печных систем и узлов. С целью улучшения качества нагрева металла предлагается на месте существующей печи установить проходную нагревательную печь, отапливаемую с помощью регенеративных горелочных устройств и с системой транспортировки металла, обеспечивающей более равномерный нагрев, как по длине, так и по толщине заготовок. При реализации предложенных мероприятий ожидается существенный экономический эффект, что подтверждается приведенным в статье тепловым балансом проходной печи. Кроме того, для визуализации распределения температурных и газодинамических потоков внутри рабочего пространства предлагаемой проходной печи было проведено компьютерное моделирование, позволяющее оценить равномерность нагрева металла.

Ключевые слова: методическая нагревательная печь; регенеративная горелочное устройство; энергосбережение; проходная печь; тепловой баланс.

Abstract

The report deals with the design and thermal operation of a methodical furnace operating at PJSC "ChTPZ" for heating pipe billets in front of the firmware. The problems arising during the operation of the heat unit are analyzed. To assess the effectiveness of the existing heating system, the thermal balance of the methodic furnace was compiled. In the course of the analysis of the results of computational studies, the shortcomings of existing furnace systems and assemblies are revealed. In order to improve the quality of metal heating, it is proposed to install a pass-through heating furnace heated by means of regenerative burners and a metal transportation system in place of the existing furnace, which provides more uniform heating, both along the length and thickness of the workpieces. When implementing the proposed measures, a significant economic effect is expected, which is confirmed by the heat balance of the feed-through furnace given in the article. In addition, to simulate the distribution of temperature and gas-dynamic flows within the working space of the proposed feed-through furnace, a computer simulation was performed to estimate the uniformity of heating of the metal.